

**SKRIPSI**

**PERBAIKAN FAKTOR DAYA  
PADA SISTEM TENAGA LISTRIK RAW MILL I  
DI PT SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**



**OLEH**

**AWALUDDIN**

**10582109212**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2018**

**PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK RAW  
MILL I DI PT SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Strata Satu (S1)**

**Program Studi Teknik Listrik**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Makassar**

**Disusun dan diajukan oleh**

**AWALUDDIN**

**10582109212**

**PADA**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2018**



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PERBANDINGAN FAKTOR DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK RAW MILLI DI PT SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP.**

Nama : 1. Awaluddin  
Stambuk : 1. 10582 1092 12

Makassar, 29 Januari 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Mengetahui,

Ketua Jurusan Elektro



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 990 410



# FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## PENGESAHAN

Skripsi atas nama Awaluddin dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1092 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0001/SK-Y/20201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 20 Januari 2018.

Panitia Ujian :

Makassar,

12 Jumadil Awwal 1439 H

29 Januari 2018 M

### 1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

### 2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

b. Sekretaris : Andi Abd Halik Lateko Tj, S.T., M.T

3. Anggota : 1. Dr. Umar Katu, S.T., M.T

2. Mutmainnah, S.T., M.T

3. Andi Faharuddin, S.T., M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T

Dekan

  
Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.  
NBM : 855 500

**PERBAIKAN FAKTOR DAYA  
PADA SISTEM TENAGA LISTRIK RAW MILL I  
di PT SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**

Awaluddin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unismuh Makassar

email : [awalismfollower@gmail.com](mailto:awalismfollower@gmail.com)

**ABSTRAK**

Sistem tenaga listrik pada PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep sebagian besar beban bersifat induktif, maka kebutuhan daya reaktif akan lebih besar. Semakin banyak daya reaktif yang dibutuhkan, maka semakin kecil nilai faktor daya ( $\cos\theta$ ) yang ada pada sistem. Hal ini akan merugikan perusahaan listrik dan juga bagi konsumen-konsumen tertentu, terutama dalam hal pembayaran kelebihan KVAR yang terpakai. Perbaikan faktor daya suatu sistem dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan yang dapat mengkompensasi kebutuhan daya reaktif konsumen. Peralatan yang dapat digunakan antara lain kondensator sinkron dan kapasitor. Pertimbangan yang meliputi keandalan peralatan, masa pemakaian, biaya peralatan, biaya operasi, penempatan dan kemudahan pemasangan menjadikan pilihan umumnya jatuh pada kapasitor. Untuk mengatasi hal tersebut diatas, maka perlu diadakan perbaikan faktor daya ( $\cos\theta$ ) yang ada di PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep dengan memasang kapasitor yang dapat bekerja secara otomatis, karena nilai faktor daya ( $\cos\theta$ ) akan berubah setiap saat sesuai dengan kondisi beban. Alat perbaikan faktor daya bekerja mengukur dan memperbaiki faktor daya sesuai dengan nilai yang ditargetkan, sehingga faktor daya pada suatu sistem akan lebih baik. Perbandingan faktor daya dari hasil pengukuran dengan hasil perhitungan secara teori tidak terlalu berbeda, ini membuktikan bahwa faktor daya pada cabang 400 volt sudah baik. Kebutuhan akan arus listrik, daya semu (KVA) dan daya reaktif (KVAR) pada cabang 400 Volt tidak terlalu besar, yakni Kapasitas daya nyata adalah 1673,52 KVA .Besarnya daya reaktif yang terpakai 1229,04 KVAR Besar kapasitas kapasitor bank yang diperoleh adalah 614,52 KVAR

**Kata kunci :** *Induktif, Daya Reaktif, Faktor Daya, Kondensator Sinkron, Kapasitor*

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu yang kami beri judul **“PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK RAW MILL I di PT SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP”**. Tujuan dari penulisan skripsi ini guna memenuhi salah satu syarat untuk bisa menempuh ujian skripsi pada fakultas teknik elektro. Di dalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, penulis sampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T selaku dekan Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammdiyah Makassar.
2. Bapak Umar Katu, S.T, M.T selaku ketua jurusan Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammdiyah Makassar yang telah menyetujui permohonan penyusunan skripsi.
3. Ibu Adriani, S.T, M.T selaku penasehat akademik yang telah membanyak membantu dalam penyusunan dan perbaian perbaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng selaku pembimbing pertama.
5. Bapak Rizal Ahdiyot Duyo, S.T.,M.T selaku pembimbing kedua.
6. Para pegawai PT Semen Tonasa yang selama ini dengan sabar membantu penelitian di RAW MILL I unit IV Pangkep.
7. Orang tua tercinta yang telah banyak memberikan doa dan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materil hingga skripsi ini dapat selesai.

8. Kakak tercinta juga anggota keluarga dan kerabat yang senantiasa memberikan doa dan dukungan semangat kepada penulis.
9. Sahabat dan rekan seperjuangan tercinta yang tiada henti memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penulisan .....	3
D. Batasan Masalah .....	3
E. Manfaat Penelitian .....	4
F. Metode Penulisan .....	4
G. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Reaktansi, Daya dan Faktor Daya .....	7
B. Penyebab dan Akibat Rendahnya Faktor Daya .....	21
C. Faedah Perbaikan Faktor Daya .....	24
D. Metode Perbaikan Faktor Daya .....	25

E. Kapasitor .....	29
F. Cos $\theta$ meter .....	35
G. Regulator Kapasitor .....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
A. Waktu dan Tempat .....	37
a. Waktu .....	37
b. Tempat Penelitian .....	37
B. Langkah-langkah Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
A. Gambaran umum PT Semen Tonasa (Persero) .....	39
B. Proses Pembuatan Semen Tonasa .....	42
C. Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep ..	44
D. Faktor Daya Pada Cabang 400 Volt .....	45
E. Perhitungan Faktor Daya Sebelum Perbaikan.....	51
F. Perhitungan Faktor Daya Sesudah Perbaikan .....	56
G. Gambar Bentuk Segitiga Daya Sebagai Perbandingan	
Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Perbaikan .....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>58</b>
A. Kesimpulan .....	58
B. Saran-saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rangkaian Induktor .....	7
Gambar 2.2 Rangkaian Induktif .....	8
Gambar 2.3 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada rangkaian induktif..	9
Gambar 2.4 Variasi reaktansi dan arus terhadap frekuensi dan diagram phasor pada rangkaian induktif .....	10
Gambar 2.5 a. Rangkaian L .....	11
Gambar 2.5 b. Hubungan antara P, I, V terhadap t .....	11
Gambar 2.6 Rangkaian Kapasitif .....	12
Gambar 2.7 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada rangkaian kapasitif.....	12
Gambar 2.8 Variasi reaktansi dan arus terhadap frekuensi dan diagram phasor pada rangkaian kapasitif .....	13
Gambar 2.9 a. Rangkaian C .....	14
Gambar 2.9 b. Hubungan antara P, I, V terhadap t .....	14
Gambar 2.10 Hubungan antara $X_L$ , $X_C$ terhadap frekuensi .....	14
Gambar 2.11 Segitiga daya .....	18
Gambar 2.12 Segitiga daya .....	20
Gambar 2.13 Perbandingan pemakaian daya .....	25
Gambar 2.14 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor seri .....	26
Gambar 2.15 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor shunt .....	27
Gambar 2.16 Dua plat sejajar.....	30

Gambar 2.17 Gelombang tegangan dan arus pada suatu kapasitor.....	31
Gambar 2.18 Kapasitor hubungan bintang (Y) .....	34
Gambar 2.19 Kapasitor hubungan delta (A) .....	35
Gambar 4.1 Single line substation I PT. Semen Tonasa Unit IV	
Pangkep pada tegangan 400 Volt .....	48
Gambar 4.2 Single line substation II PT. Semen Tonasa Unit IV	
Pangkep pada tegangan 400 Volt .....	49
Gambar 4.3 Single line substation I PT. Semen Tonasa Unit IV	
Pangkep pada tegangan 400 Volt .....	50
Gambar 4.4 Segitiga daya pada MDB 4 A (Raw Mill 1) .....	57

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Pemilihan kapasitor seri dan paralel .....	28
Tabel 2.2 Kekuatan dielektrik dan konstanta dielektrik setiap bahan .....	31
Tabel 4.1 Faktor daya pada cabang 400 Volt sebelum perbaikan .....	46
Tabel 4.2 Faktor daya pada cabang 400 Volt sesudah perbaikan .....	46
Tabel 4.3 Faktor pengali untuk setiap KW beban .....	47
Tabel 4.4 Kapasitor bank pada tegangan 380/440 Volt .....	47
Tabel 4.5 Data hasil perhitungan faktor daya sesudah perbaikan .....	56

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Pembangunan yang pesat dewasa ini utamanya di sektor industri mendorong meningkatnya kebutuhan akan tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan tenaga listrik yang menjadi sumber tenaga dalam industri.

Pemakaian tenaga listrik yang semakin hari semakin meningkat menyebabkan bervariasinya jenis beban. Kendala oleh beban yang bervariasi menyebabkan faktor daya listrik menjadi rendah. Hal ini disebabkan karena adanya beban yang mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga memerlukan peralatan tambahan. Beban yang bersifat induktif dapat menurunkan efisiensi sistem, baik pada sistem yang bekerja sendiri (misalnya pada industri-industri dengan pembangkit sendiri tanpa interkoneksi dengan pembangkit lainnya) maupun pusat-pusat pembangkit yang saling terinterkoneksi dimana hal tersebut merupakan masalah dalam sistem kelistrikan khususnya dalam melayani kebutuhan beban yang semakin meningkat.

Untuk mengimbangi kebutuhan daya yang semakin meningkat, dapat dilakukan upaya sebagai berikut:

1. Pembangunan pusat-pusat pembangkit baru
2. Meningkatkan efisiensi sistem melalui pemasangan peralatan-peralatan kompensasi sebagai sumber daya reaktif.

Dari kedua alternatif di atas, alternatif (a) hanya dapat dilakukan jika kondisi kapasitas daya diperkirakan jauh di atas kapasitas yang sudah terpasang. Sedangkan

alternatif (b), merupakan upaya awal yang perlu dilakukan dalam rangka peningkatan efisiensi kerja sistem.

Umumnya industri besar bebannya terdiri dari beban induktif, apakah itu berupa motor induksi atau berupa lampu-lampu penerangan yang membutuhkan daya reaktif.

Motor-motor induksi dengan kapasitas besar pada umumnya dioperasikan di bawah rating nominalnya. Hal itu dimaksudkan untuk memperpanjang usia pemakaian motor tersebut. Sebab dengan mengoperasikan di bawah rating nominalnya, maka faktor daya motor menjadi rendah. Secara teoritis dengan faktor daya yang rendah, arus yang dibutuhkan dari penyedia daya menjadi besar. Hal ini menyebabkan besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem.

Rendahnya faktor daya berpengaruh pada besarnya daya reaktif yang dibutuhkan sistem. Untuk suatu industri nilai faktor dayanya telah dibatasi. Besarnya daya reaktif yang diserap, sangat memungkinkan nilai faktor daya berada di bawah nilai tersebut. Hal ini memerlukan suatu cara mengkompensir kebutuhan akan daya reaktif tambahan untuk memperbaiki faktor daya tersebut.

Faktor daya rendah juga mempengaruhi kapasitas sistem secara keseluruhan. Hal itu terlihat dengan besarnya daya semu (VA). Dengan kondisi seperti itu maka sangat memungkinkan terjadinya beban lebih pada sistem.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, penulis merasa tertarik untuk mengadakan Evaluasi mengenai faktor daya pada PT. Semen Tonasa dengan judul dalam penulisan proyek akhir ini adalah : "Perbandingan Factor Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang masalah yang dipaparkan diatas, maka dirumuskanlah masalah berikut ini:

1. Bagaimana sistem tenaga listrik terhadap faktor daya di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep pada RAW MILL I.
2. Bagaimana menghitung faktor daya di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV pangkep pada RAW MILL I.

## **C. Tujuan Penulisan**

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, yang berjudul " Perbaikan Factor Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep adalah :

1. Untuk mengetahui faktor daya pada tegangan 400 Volt, di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep pada RAW MILL I.
2. Untuk mengevaluasi faktor daya pada tegangan 400 Volt, di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV pangkep pada RAW MILL I.

## **D. Batasan Masalah**

Berdasarkan pada rumusan masalah yang dipaparkan di atas, maka dibatasi masalah berikut ini:

1. Cara menghitung faktor daya pada tegangan 400 Volt, di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep pada RAW MILL I.

2. Cara mengevaluasi faktor daya pada tegangan 400 Volt, di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV pangkep pada RAW MILL I.

### **E. Manfaat penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengimbangi kebutuhan daya yang semakin meningkat, dapat dilakukan upaya sebagai pembangunan pusat-pusat pembangkit baru
2. Meningkatkan efisiensi sistem melalui pemasangan peralatan-peralatan kompensasi sebagai sumber daya reaktif.

### **F. Metode Penulisan**

Metode penulisan ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penulisan ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

2. Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep. Kemudian mengevaluasi dan menyimpulkan.

### 3. Metode Diskusi / Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi / wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep.

### **G. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang kami gunakan dalam penulisan ini terbagi dalam 5 bab seperti berikut:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan, dan Sistematika penulisan.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Mengemukakan pembahasan yang teoritis tentang pengertian reaktansi, daya dan faktor daya, penyebab dan akibat rendahnya faktor daya, faedah dan metode perbaikan faktor daya, serta teori-teori mengenai bahan dan alat yang berhubungan dengan faktor daya sehingga dapat dijadikan landasan yang akurat untuk menunjang penulisan.

#### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Memuat tentang sejarah dan status perusahaan, proses pembuatan semen Tonasa, sistem kelistrikan, serta faktor daya PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengemukakan mengenai perhitungan faktor daya, dan menentukan kapasitas kapasitor bank, serta pembahasan dengan berdasarkan pada data yang diperoleh dari PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep.

#### BAB V : PENUTUP

Memuat kesimpulan dari pembahasan masalah dan saran untuk melengkapi uraian yang telah ada.

## BAB II

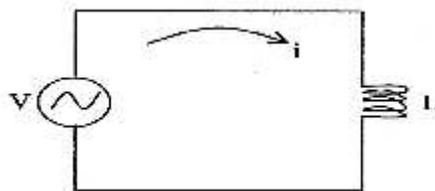
### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Reaktansi, Daya dan Faktor Daya

##### 1. Pengertian reaktansi

Bila suatu tegangan sinusoida dipasangkan pada suatu resistor, maka arus yang mengalir pada resistor tersebut dapat dihitung dengan hukum Ohm tanpa memperhitungkan frekuensinya. Berlainan halnya dengan induktor dan kapasitor dimana arusnya sangat bergantung pada frekuensi sumber tegangan yang dipasangkan.

Pada resistor, adanya arus disebabkan oleh gesekan antara molekul yang menimbulkan panas, sedangkan pada induktor dan kapasitor akan terdapat tegangan balik. Pengaruh tegangan balik ini disebut reaktansi yang diukur dalam satuan ohm.



Gambar 2.1 Rangkaian Induktor

##### a. Reaktansi Induktor ( $x_L$ )

Bila sebuah kumparan yang induktansinya  $L$  Henry (reaktansi diabaikan) dihubungkan pada tegangan AC, maka kumparan tersebut menghasilkan ggl lawan. Ggl itu setiap saat selalu berlawanan dengan naiknya atau turunnya arus yang melalui kumparan tersebut. Atau dapat dituliskan bahwa ggl yang diinduksikan dalam kumparan adalah :

$$e = -L \times \text{perubahan arus setiap saat}$$

Bila selama perubahan setiap  $dt$  detik, arus yang mengalir adalah ampere, maka harga sesaat ggl yang diinduksikan pada kumparan tersebut adalah :

$$e = -L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan demikian tegangan yang dipakai dari sumber harus dapat mengatasi ggl induksi ini (atau tegangan jatuh pada kumparan harus sama dengan ggl, karena resistansi pada rangkaian diabaikan, sehingga :

$$v = -e$$

$$v = L \frac{di}{dt}$$

$$\text{Karena } v = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Maka } di = (V_m / L) \sin \omega t \, dt$$

Dengan integrasi dari kedua sisi, akan kita dapatkan :

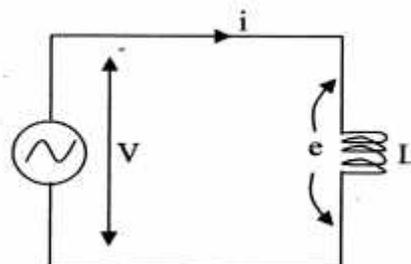
$$i = \frac{V_m}{L} \int \sin \omega t \, dt$$

$$= \frac{V_m}{\omega L} \sin (\omega t - 90^\circ)$$

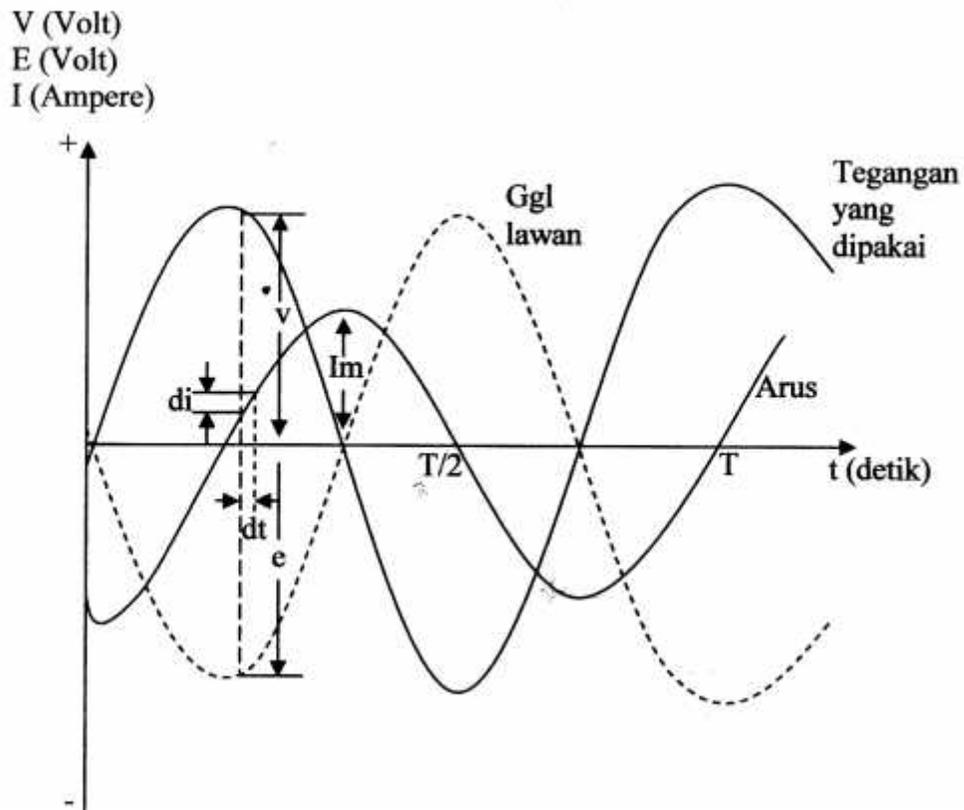
Nilai maksimum adalah  $I_m = V_m / \omega L$  terjadi bila besarnya

$$\sin (\omega t - 90^\circ) = 1,$$

$$\text{Sehingga : } i = I_m \sin (\omega t - 90^\circ) \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.2 Rangkaian Induktif



Gambar 2.3 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada rangkaian induktif

Pada gambar diatas terlihat bahwa arus yang mengalir pada kumparan yang resistansinya diabaikan, tertinggal 90° (seperempat perioda) terhadap tegangan yang dipakai. Jadi besarnya impedansi pada rangkaian induktif adalah :

$$Z_L \frac{V < 0^\circ}{I < -90^\circ}$$

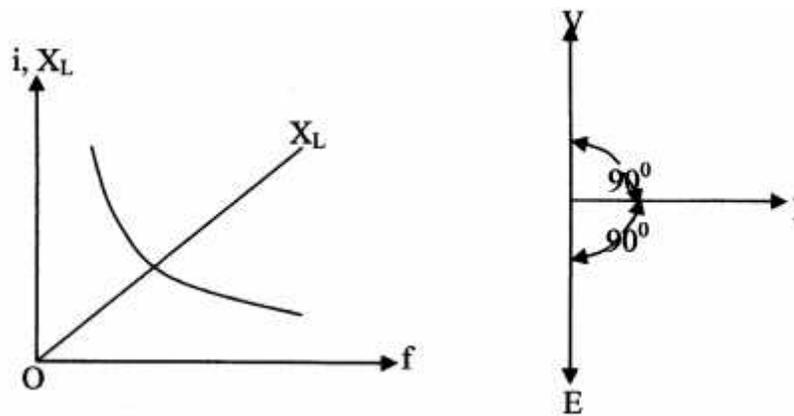
$$Z_L = j\omega L \dots\dots\dots(2.4)$$

Besar impedansi dalam hal ini disebut "reaktansi induktif dengan simbol  $x_L$ , dan dinyatakan dalam ohm.

$$\text{Jadi } X_L = \omega L \dots\dots\dots(2.5)$$

Reaktansi induktif berbanding lurus dengan frekuensi, sedangkan arus yang mengalir padanya berbanding terbalik dengan frekuensinya.

Diagram fasor untuk rangkaian induktif dilukiskan dalam gambar 2.4, dimana E merupakan harga efektif dan ggl yang diinduksikan dalam rangkaian, sedangkan V adalah harga efektif dari tegangan sumber. Besarnya E dan V adalah sama akan tetapi saling berlawanan.



Gambar 2.4 Variasi reaktansi dan arus terhadap frekuensi dan diagram fasor pada rangkaian induktif

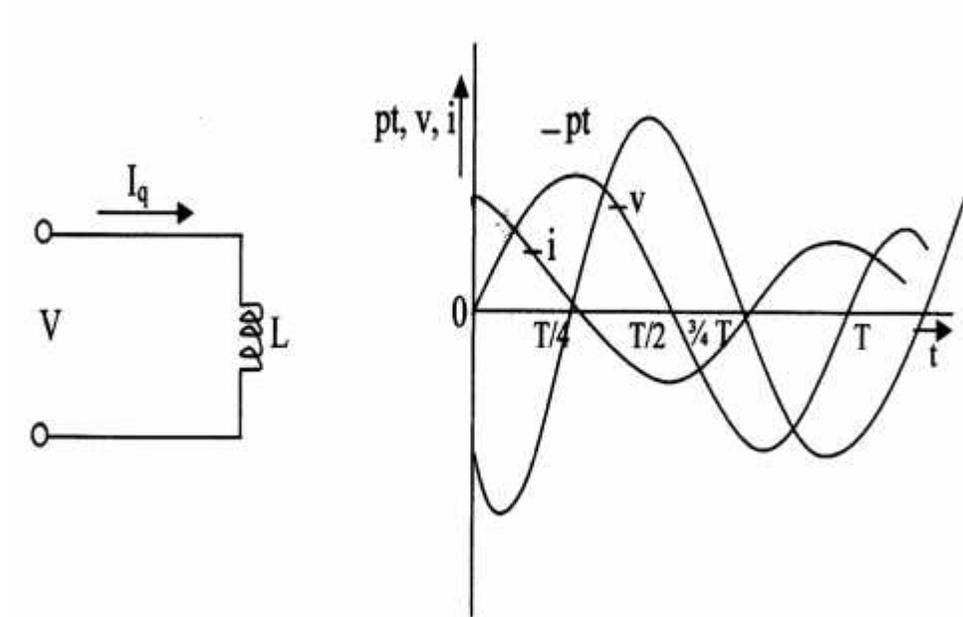
Daya pada induktor dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya sesaat: } P_L &= V_L \cdot i \\
 &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t - 90^\circ) \\
 &= \frac{-V_m \cdot I_m}{2} \sin 2\omega t \dots\dots\dots(2.6)
 \end{aligned}$$

Jadi untuk satu periode penuh, daya rata-rata pada induktor adalah:

$$\text{Daya rata-rata : } P = \frac{-V_m \cdot I_m}{2} \int \sin 2\omega t = 0 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.7)$$

Ini berarti bahwa daya rata-rata pada induktor pada suatu periode atau pada seluruh periode adalah selalu nol atau dengan kata lain tidak ada daya yang diserap pada rangkaian.



Gambar 2.5 a. Rangkaian L

b. Hubungan antara P, I, V terhadap t

#### b. Reaktansi Kapasitif ( $X_c$ )

Bila tegangan AC dipakai pada tegangan kapasitor, maka pertamanya akan terjadi pengisian muatan pada satu arah namun, kemudian pada setengah perioda lagi, pengisian pada arah sebaliknya. Sehingga bila pada suatu saat beda potensial pada kapasitor adalah :  $V = V_m \sin \omega t$  dan besarnya muatan pada kapasitor adalah  $Q$  Coulomb, maka :

$$Q = C.V$$

dimana  $C$  adalah kapasitansi dalam farad.

Besarnya arus yang melewati kapasitor adalah :

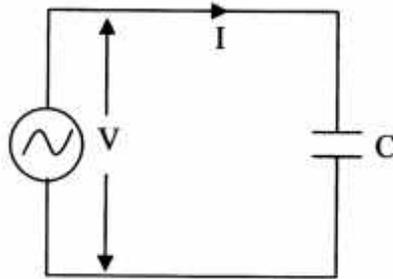
$$I = (dq/dt)$$

Bila selama perubahan waktu  $dt$  detik, tegangan yang dipakai oleh kapasitor adalah  $dv$  Volt, besarnya arus sesaat :

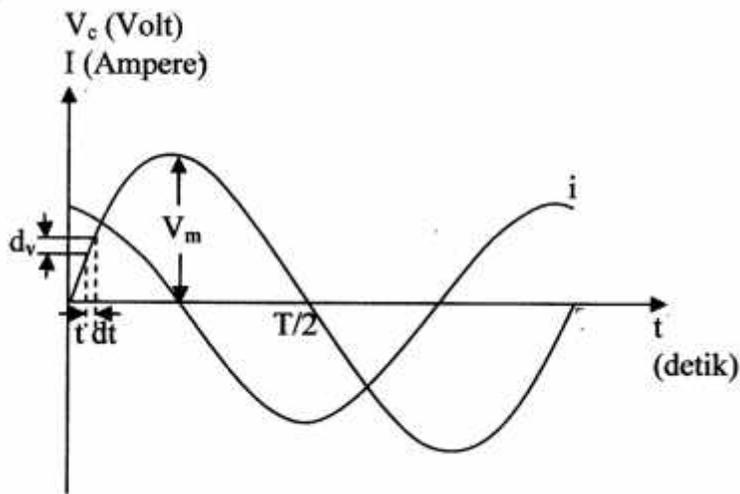
$$I = C . (dv/dt)$$

Dimana :  $I_m = V_m \cdot \omega C$  .....(2.8)

$$I = I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$



Gambar 2.6 Rangkaian kapasitif



Gambar 2.7 Bentuk gelombang arus dan tegangan pada rangkaian kapasitif

Pada gambar di atas terlihat bahwa arus yang mengalir pada kumparan yang resistansinya diabaikan, mendahului  $90^\circ$  (seperempat periode) terhadap tegangan yang dipakai. Jadi besarnya impedansi pada rangkaian kapasitif adalah :

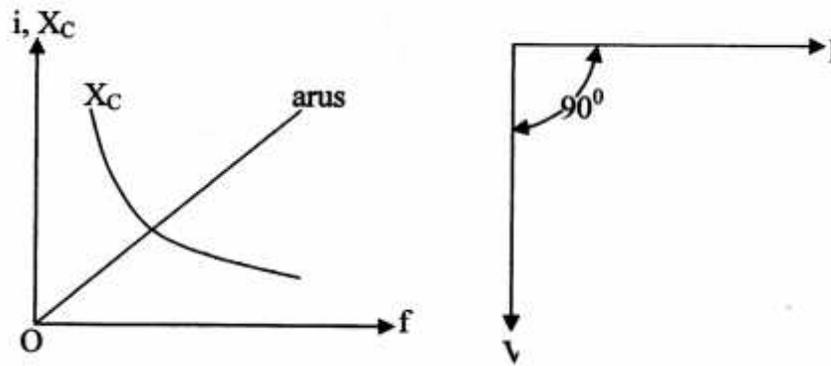
$$Z_c = \frac{V \angle 0^\circ}{I_c \angle -90^\circ}$$

$$Z_c = -j \frac{1}{\omega C} \dots\dots\dots(2.9)$$

Besarnya impedansi dalam hal ini disebut “reaktansi kapasitif” dengan simbol  $X_c$  dan diukur dalam ohm.

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

Reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi, sedangkan arus yang mengalir padanya berbanding lurus dengan frekuensinya.



Gambar 2.8 Variasi reaktansi dan arus terhadap frekuensi dan diagram fasor pada rangkaian kapasitif

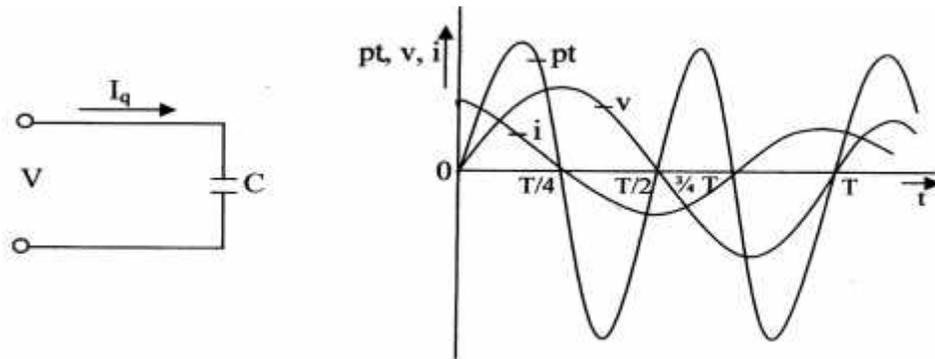
Daya pada kapasitor dapat dihitung sebagai berikut:

Daya sesaat:

$$\begin{aligned}
 P_L &= V_L \cdot i \\
 &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t + 90^\circ) \\
 &= V_m I_m \sin (\omega t + 90^\circ) \\
 &= \frac{V_m I_m}{2} \sin 2 \omega t \dots\dots\dots(2.11)
 \end{aligned}$$

Daya rata-rata:  $P = V_m \cdot I_m \int_0^{2\pi} \sin 2\omega t dt - 0 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.12)$  Ini

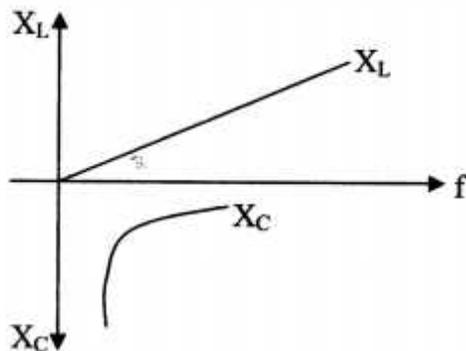
berarti bahwa daya rata-rata pada rangkaian kapasitif pada satu perioda atau pada seluruh perioda adalah selalu nol atau dengan kata, tidak ada daya yang diserap pada rangkaian.



Gambar 2.9 a. Rangkaian C. b. Hubungan antara P, I, V terhadap t.

Dari kedua hal tersebut di atas diperoleh bahwa :

1. Harga  $X_L$  naik dengan bertambahnya frekuensi
2. Harga  $X_C$  turun dengan bertambahnya frekuensi.



Gambar 2.10 Hubungan antara  $x_l$ ,  $X_c$  terhadap frekuensi

Amplitudo dari  $p_l$  dan  $p_q$ , secara umum dapat dirulis sebagai berikut:

$$P_x = Q = V \cdot I \sin \omega t$$

Disebut daya reaktif (reactive power) dengan satuan VAR (volt ampere reaktif).

Untuk menentukan daya reaktif ( $Q_c$ ) diketahui beberapa cara sebagai berikut:

- Metode sederhana

Metode ini digunakan agar dengan cepat dapat menentukan nilai  $Q_c$ . biasanya dilakukan untuk memperbaiki investasi yang akan dilakukan, yaitu diambil dari perkiraan rata-rata faktor daya suatu instalasi 0,65 . Misalnya faktor daya yang diinginkan 0,95, maka dari tabel  $\cos(\phi)$  didapat angka 0,84 sebagai faktor pengali. Sehingga untuk menghindari denda dari PLN, misalnya suatu instalasi dengan beban 100 KW memerlukan daya reaktif ( $Q_c$ ) sebesar  $= 0,84 \times 100 \text{ KW} = 84 \text{ KVAR}$ .

- Metode  $\cos \phi$

Metode ini digunakan untuk perhitungan optimum. Disamping menggunakan tabel  $\cos \phi$ , data lain yang dipergunakan adalah : daya beban total, faktor daya ( $\cos \phi$ ), tegangan dan arus.

Contoh :

Sebuah instalasi pabrik memiliki faktor daya 0,7 dan beban puncak 600 KW. Untuk menaikkan faktor daya menjadi 0,95 diperlukan daya kapasitor sebesar :

Dari tabel (lampiran 1) didapat angka 0,69. Maka daya reaktif ( $Q_c$ ) yang diperlukan sebesar  $= 0,69 \times 600 \text{ KW} = 414 \text{ KVAR}$ .

- Metode kuitansi PLN

Cara ini memberikan hasil yang sesuai dengan keadaan pada saat perhitungan. Metode seperti ini memerlukan data yang diambil dari kuitansi PLN, dalam suatu periode (1 tahun), kita ambil kuitansi dengan

pembayaran KVARh yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah waktu pemakaian.

Contoh :

Suatu pabrik yang beroperasi 8 jam/hari membayar denda pemakaian KVARh tertinggi pada tahun yang lalu sebesar 63500 KVARh. Maka diperlukan kapasitor dengan daya :

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{\text{KVARh tertinggi}}{\text{waktu pemakaian}} \\ &= \frac{63500 \text{ KVARh}}{8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}} \\ &= 264,6 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

## 2. Daya

Dalam rangkaian arus searah telah kita pelajari, bahwa besarnya daya adalah:

$$P = V \cdot I = I^2 R = V^2/R (\text{watt})$$

Untuk rangkaian arus bolak balik, karena bentuk tegangan dan arusnya merupakan gelombang sinusoidal,, maka besarnya daya pada setiap saat tidak sama. Oleh karena itu daya yang diambil adalah daya rata-ratanya:

$$p = \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} V \cdot I \cdot dt (\text{watt})$$

Dimana v dan i adalah harga sesaat.

Karena besarnya impedansi disamping tergantung dari besarnya tahanan juga tergantung dari besarnya reaktansi yang mempunyai harga/besaran khayal, maka hampir selalu terdapat perbedaan fasa antara tegangan dan arusnya, misalkan :

$$V = V_m \sin \omega t \text{ Volt}$$

$$I = I_m \sin (\omega t + \varphi) \text{ Ampere}$$

Daya rata-ratanya:

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{T} \int_0^T V \cdot i \, dt \\ &= \frac{V_m I_m}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi) \, dt \\ &= \frac{V_m I_m}{2T} \int_0^T [\cos \varphi - \cos (2\omega t + \varphi)] \, dt \\ &= \frac{V_m I_m}{2} \cos \varphi - 0 \\ &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos \varphi \end{aligned}$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ Watt atau}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.13)$$

Maka :

$$V = \frac{P}{I \cdot \cos \varphi} \text{ atau}$$

$$V = \frac{P}{\sqrt{3} I \cdot \cos \varphi} \text{ atau } \dots\dots\dots(2.14)$$

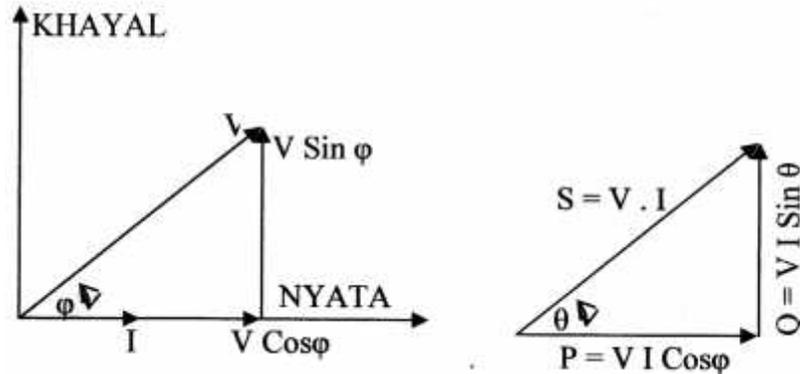
Dimana:

V = tegangan efektif (volt).

I = arus efektif (ampere).

cos  $\varphi$  = Faktor daya atau faktor kerja (power factor).

$\theta$  = Perbedaan fasa antara arus dan tegangan ( $^{\circ}$ ).



Gambar 2.11 Segitiga Daya

Jadi daya rata-rata  $P = V \cdot I \cos \varphi$  (watt) adalah daya yang betul-betul nyata/ada, yang diperoleh karena adanya tahanan murni  $R$  (resistansi). Oleh karena itu, disebut daya nyata dengan notasi  $P$  dan satuan Watt atau daya rata-rata dalam rangkaian AC adalah perkalian antara tegangan efektif, arus efektif dan faktor daya (cosinus dari sudut fasanya). Bila rangkaian bersifat resistif ( $\varphi = 0$  dan  $\cos \varphi = 1$ ). Maka:

$$P = V \cdot I$$

Bila rangkaian bersifat induktif atau kapasitif

$$(\varphi = \pm 90 \text{ dan } \cos \varphi = 0)$$

$$P = 0$$

Sedangkan daya yang diperoleh dari harga / besaran reaktansi  $X$  disebut daya khayal reaktif atau istilah lain yang sering digunakan adalah daya buta dengan notasi  $Q$  dan satuan VAR (Volt Ampere Reaktif).

$$Q = V I \sin \varphi \text{ atau}$$

$$Q = P \cdot \tan \varphi \dots \dots \dots (2.15)$$

Penggabungan daya aktif dan daya reaktif disebut dengan daya semu / nyata dengan notasi  $S$  dan satuan VA (Volt Ampere).

$$S = V I \text{ (VA)}$$

Daya semu  $S$  merupakan bilangan kompleks yang terdiri dari komponen-komponen  $P$  dan  $Q$ . Oleh karena itu, dapat dituliskan sebagai berikut:

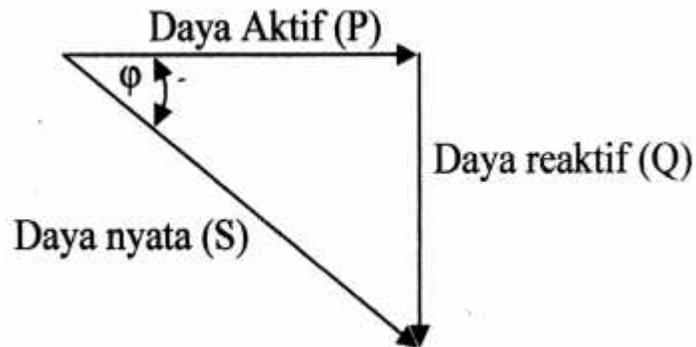
$$S = P + jQ \text{ (VA)}$$

### 3. Pengertian Faktor daya

Faktor daya (power faktor) dari suatu sistem listrik adalah merupakan perbandingan besarnya daya aktif (KW) dengan besarnya daya nyata (KVA) dari sistem tersebut. Dengan bertambahnya KVA maka arus yang mengalir akan semakin besar. Untuk menanggulangi besarnya arus yang dipakai untuk memenuhi beban reaktif induktif maka arus reaktif induktif yang besar, akan menyebabkan arus total yang besar dan menyebabkan jatuh tegangan serta rugi-rugi daya yang disebabkan oleh pengaruh beban. Dalam sistem tenaga listrik AC, dikenal tiga jenis daya yakni:

- Daya aktif (Active Power)
- Daya reaktif (Reactive Power)
- Daya nyata (Apparent Power)

Ketiga daya tersebut dapat dilukiskan dengan gambar segitiga daya dibawah ini:



Gambar 2.12 Segitiga Daya

$$S = P + jQ$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ atau}$$

$$KVA = \sqrt{KW^2 + KVAR^2}$$

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

Dengan

P = Daya aktif (KW)

Q = Daya reaktif (KVAR)

S = Daya nyata (KVA)

Dari segitiga daya tersebut di atas didapat bahwa

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \frac{\text{Daya Aktif (KW)}}{\text{Daya nyata (KVA)}} \\ &= \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.17) \end{aligned}$$

Sehingga dapat juga dikatakan bahwa faktor daya (pf) adalah cosinus sudut antara vektor daya aktif dengan daya semu. Faktor daya dinyatakan dengan sudut pergeseran fase antara arus dengan tegangan dan arah pergeseran fase ini tergantung pada jenis beban yang terpasang pada sistem. Untuk beban-beban

yang bersifat induktif, maka vektor tegangan akan mendahului vektor arus sebesar  $90^\circ$  (leading), dan jika bebannya bersifat kapasitif maka vektor tegangan akan ketinggalan  $90^\circ$  terhadap vektor arus (lagging).

Umumnya beban bersifat induktif, maka beban yang menyerap daya reaktif induktif disebut beban reaktif, sedangkan beban yang membutuhkan daya reaktif kapasitif disebut sumber daya reaktif. Untuk menentukan faktor daya lagging (tertinggal) dan leading (terdahului) dalam sistem tenaga listrik adalah dengan memperhatikan arah aliran daya aktif dan daya reaktif.

## B. Penyebab dan Akibat Rendahnya Faktor Daya

### 1. Penyebab faktor daya rendah

Faktor daya yang rendah akan menyebabkan arus yang mengalir pada suatu beban listrik menjadi besar. Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan ketentuan daya dan tegangannya konstan.

Faktor-faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan seperti motor induksi, transformator, terutama pada beban-beban rendah dan unit-unit ballast dari lampu pelepas (discharge lighting) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk gerakannya. Alat-alat las busur listrik juga mempunyai faktor daya yang rendah. Medan magnet dari peralatan-peralatan seperti ini memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan

hanyalah untuk membangkitkan medan. Walaupun arus dikembalikan ke sumber jika medan turun mendadak, perlu penambahan kabel dan instalasi untuk membawa arus ini. Hanya komponen arus aktif dan bermanfaat yang mempertanggungjawabkan kerja bermanfaat yang dilakukan oleh peralatan tersebut.

Cara lain untuk melihat masalah ini adalah menyadari bahwa suatu faktor daya yang buruk menyebabkan tegangan dan arus berlawanan fasa sehingga perkaliannya tidak menghasilkan daya dalam watt, tetapi dalam Volt-Ampere.

## 2. Akibat bila faktor daya rendah

Apabila dari PLN menghasilkan faktor daya yang jelek, maka akan berakibat:

- Pemakaian jaringan transmisi akan menjadi buruk, sebab arus yang besar, mengakibatkan hilangnya daya yang besar pada jaringan.
- Dapat berakibat buruk pada generator dan transformator, sebab arusnya maksimum dan pemakaian tidak seimbang dengan daya aktif maksimum yang diperlukan.
- Berakibat boros bagi penggerak mulanya, karena hanya bagian aktif saja yang bisa digunakan pada konsumen, sehingga biaya produksinya mahal.

Pengaruh terhadap konsumen bila faktor daya yang dihasilkan jelek, maka akan mengakibatkan :

### a. Pada instalasi yang baru :

- Pada jaringan akan memerlukan penampang yang besar untuk penghantarnya.
  - Transformator akan terbebani oleh VA yang lebih besar.
  - Akan memerlukan daya yang lebih besar.
- b. Pada instalasi yang sudah tersambung :
- Rugi-rugi yang timbul akan lebih besar karena adanya pengaruh panas.
  - Kerugian tegangan lebih besar, sedangkan efisiensi pada instalasi lebih kecil.
  - Penurunan tegangan pada beban, sehingga karakteristik pada beban tersebut berubah.

Membesarnya arus listrik pada suatu sistem akibat rendahnya faktor daya akan menimbulkan kerugian-kerugian sebagai berikut:

- a. Kapasitas daya dari transformator dan generator akan berkurang dengan arus penguatan yang bertambah. Akibatnya rugi-rugi tembaga bertambah dan efisiensi menurun.
- b. Luas penampang penghantar atau kabel jaringan harus diperbesar.
- c. Permukaan kontak-kontak dari peralatan pemutus dan luas penampang busbar harus diperbesar pula.
- d. Pada beban motor terjadi kenaikan temperature yang akan memperpendek umur isolasi belitannya.

### C. Faedah Perbaikan Faktor Daya

Bertambahnya salah satu atau kedua komponen daya aktif dan daya reaktif akan diikuti dengan membesarnya daya semu. Meningkatnya komponen daya aktif tidak menimbulkan masalah sejauh tidak melampaui batas kemampuan nominal (rating) peralatan, lain halnya dengan komponen daya reaktif yang walaupun tidak sampai melampaui batas kemampuan nominal, namun merugikan ditinjau dari segi efisiensi penyaluran energi. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

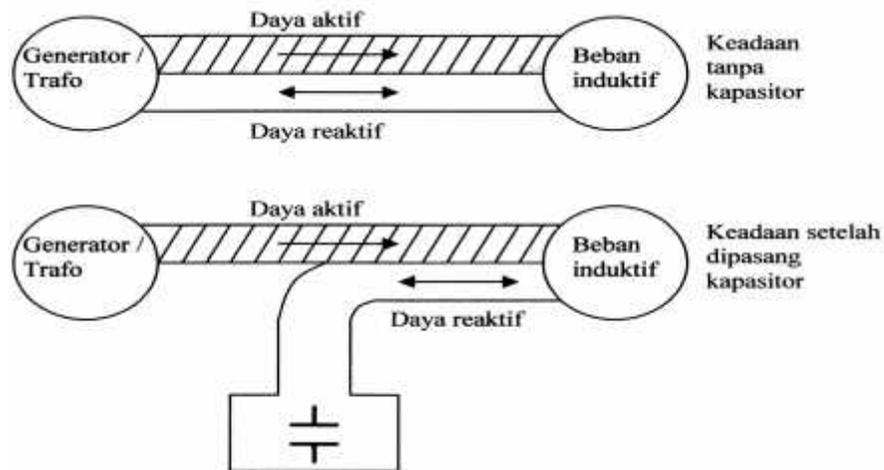
Sistem pembangkit tenaga listrik mempunyai batas daya nyata bagi penggerak mulanya dan batas daya semu bagi generator. Umumnya generator mempunyai kapasitas daya nyata bagi penggerak mula untuk faktor daya maksimum. Dengan demikian kebutuhan sistem akan daya reaktif akan mereduksi daya nyata yang akan disalurkan ke beban. Makin besar daya reaktif yang disalurkan untuk besar daya semu yang sama, makin buruk faktor daya ( $\cos \phi$ ) sistem.

Permintaan daya reaktif yang kian membesar mengakibatkan usaha untuk memperbaiki faktor daya semakin mendesak mengingat faedahnya antara lain:

1. Mengurangi rugi-rugi  $I^2X$  pada sistem pada pengurangan arus.
2. Mengurangi rugi-rugi  $I^2R$  pada sistem pada pengurangan arus.
3. Mengurangi beban KVA generator sehingga kondisi beban dapat teratasi atau tersedia kapasitas untuk melayani kebutuhan beban.
4. Memperbaiki tegangan disisi beban.
5. Memperpanjang umur sistem.

Nampak dengan membaiknya faktor daya ( $\cos \phi$ ) tidak saja menguntungkan PLN sebagai produsen energi listrik, namun dirasakan juga oleh konsumen. Hal ini

disebabkan manfaatnya meliputi seluruh sistem mulai dari distribusi sampai ke beban.



Gambar 2.13 Perbandingan pemakaian daya

#### D. Metode Perbaikan Faktor Daya

Adapun metode yang umum digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah menggunakan motor dan generator sinkron, serta menggunakan kapasitor.

##### 1. Penggunaan motor dan generator sinkron

Motor sinkron dapat berfungsi sebagai KVAR generator, seperti halnya dengan generator sebenarnya. Kemampuan generator sinkron untuk membangkitkan KVAR adalah sebagai fungsi dari arus penguatan (exciter) dengan beban. Pada saat penguatan rendah (under exciter), maka motor sinkron akan menarik arus reaktif untuk memenuhi kebutuhan medan magnetnya. Akan tetapi bila diberi penguatan lebih, maka akan mengirim kelebihan arus reaktifnya ke jala-jala sehingga motor berfungsi sebagai KVAR beban.

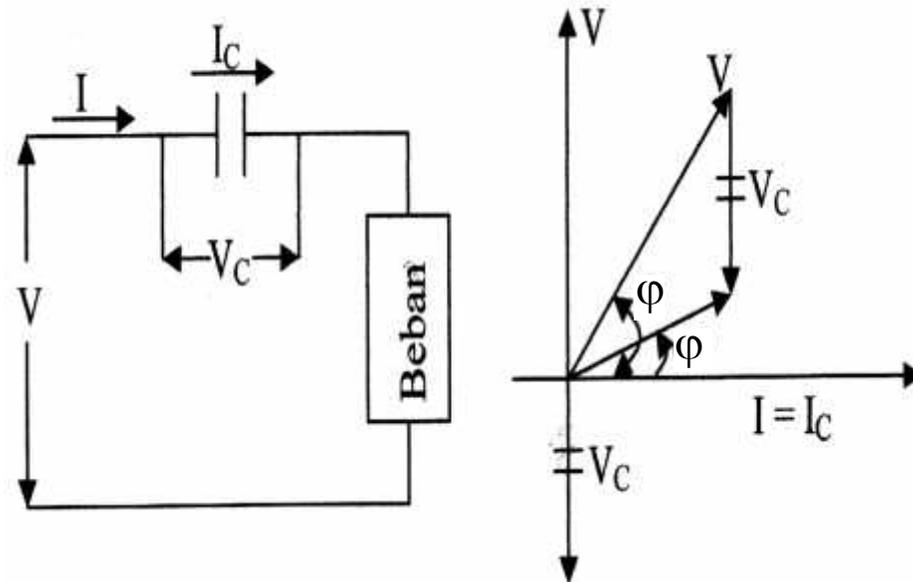
## 2. Penggunaan Kapasitor

Untuk pemasangan kapasitor dikenal dua macam cara yaitu :

- Penggunaan kapasitor seri

Disebut kapasitor seri, bila sistem kapasitor dirangkai seri dengan beban. Kapasitansi total dapat diubah dengan cara menghubungkan beberapa kapasitor secara seri atau paralel. Kapasitansi total dapat dikurangi, bila kapasitor dihungkan secara seri seperti pada gambar 2.14. Besar kapasitansi  $C_T$  dapat dikalkulasi sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} + \dots$$

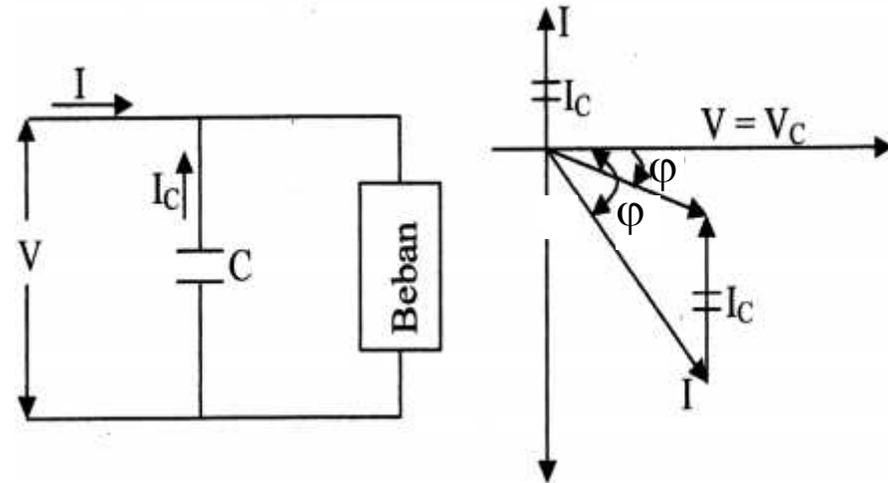


Gambar 2.14 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor seri

- Penggunaan kapasitor shunt

Disebut kapasitor shunt, bila sistem kapasitor dirangkai paralel dengan beban. Untuk hubungan paralel, kapasitansi total dapat dinaikkan bila

kapasitor dihubungkan secara paralel seperti pada gambar 2.15, Besar kapasitansi CT dapat dihitung dengan cara:



Gambar 2.15 Rangkaian dan diagram vektor kapasitor shunt

Dimana :

$\phi$  = sudut faktor daya mula-mula

$\phi'$  = sudut faktor daya setelah pemasangan kapasitor Perbandingan kapasitor sen dengan paralel

Kapasitor seri dan paralel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedang kapasitor paralel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan bahwa biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor paralel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri sering lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain

untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor paralel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan antara kapasitor seri dan paralel disajikan dalam tabel. Karena banyaknya keterbatasan untuk menggunakan kapasitor seri, banyak dipakai kapasitor paralel dalam sistem distribusi.

Tabel 2.1 Pemilihan kapasitor seri dan paralel

No	Tujuan	Pilihan	
		Kapasitor seri	Kapasitor paralel
1.	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2.	Memperbaiki tingkat tegangan saluran pada sistem saluran udara	Pertama	Kedua
3.	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan fd yang tinggi	Tidak dipakai	Pertama
4.	Memperbaiki tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan fd normal dan rendah	Pertama	Tidak dipakai
5.	Memperbaiki tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan fd tinggi	Tidak dipakai	Tidak dipakai
6.	Mengurangi kerugian saluran	Kedua	Pertama
7.	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak dipakai

## E. Kapasitor

### 1. Kapasitor dan Kapasitansi

Kapasitor adalah alat yang menambah kapasitansi pada suatu rangkaian listrik. Kapasitor terdiri dari dua lempengan konduktor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik.

Kapasitansi adalah besarnya perlawanan terhadap arus dan kapasitor dalam suatu rangkaian listrik, akibat terjadinya perubahan tegangan dalam rangkaian listrik itu. Kapasitansi suatu kapasitor berbanding terbalik dengan selisih potensial antara lempengan-lempengan konduktornya.

$$Q = C \cdot V \text{ (Coloumb)}$$

$$C = Q / V \text{ (Farad) .....(2.19)}$$

Dimana:

C = kapasitansi kapasitor (farad)

Q '= muatan kapasitor (Coloumb)

V = beda potensial antara kedua lempengan logam (Volt)

### 2. Reaktansi dan kapasitor

Jika arus dialirkan pada kapasitor, maka terdapat perlawanan terhadap aliran arus tersebut, perlawanan itulah yang disebut reaktansi kapasitif dan dinyatakan dengan  $X_c$ . Suatu kapasitor dengan kapasitansi (C) pada frekuensi (f) yang diketahui, diberikan dalam hubungan sebagai berikut:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \text{ ohm}$$

Dimana:

$X_c$  = reaktansi kapasitif (Ohm)

$f$  = frekuensi (Hz)

$C$  = Kapasitansi kapasitor (farad)

### 3. Dielektrik kapasitor

Kapasitor merupakan dua plat sejajar yang terisolasi satu terhadap yang lain oleh material dielektrik dengan kapasitansi sebesar:

$$C = k (A / d) \text{ (farad) } \dots\dots\dots(2.20)$$

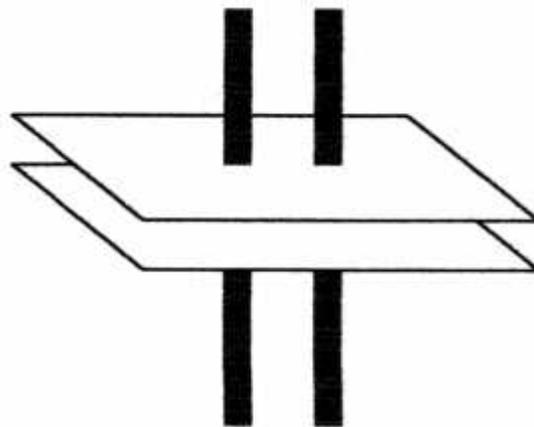
Dimana:

$C$  = Kapasitansi kapasitor (farad)

$k$  = konstanta dielektrik

$A$  = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Kapasitansi dari kapasitor dipengaruhi oleh luas permukaan plat, jarak antara plat-plat dan jenis material dielektrik kapasitor yang digunakan.



Gambar 2.16 Dua plat sejajar

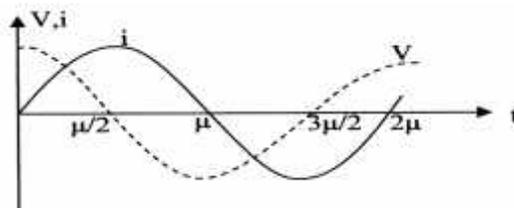
Kapasitansi dari kapasitor dapat diperbesar atau diperkecil dengan memilih bahan-bahan dielektrik seperti tabel berikut ini:

Tabel 2.2 Kekuatan dielektrik dan konstanta dielektrik setiap bahan.

Bahan	Kekuatan dielektrik (V/m)	Konstanta dielektrik
Udara	$3 \times 10^6$	1,0
Minyak	$15 \times 10^6$	4,0
Kertas	$20 \times 10^6$	4,0
Polysterne	$21 \times 10^6$	6,2
Karet	$25 \times 10^6$	3,0
Bakelit	$30 \times 10^6$	5,0
Glass	$30 \times 10^6$	7,5
Parafm	$30 \times 10^6$	2,1
Quarts	$30 \times 10^6$	5,0
Mica	$200 \times 10^6$	6,0

## 4. Arus kapasitor

Jika kapasitor dipasang pada rangkaian listrik dengan tegangan bolak-balik (AC), maka arus yang mengalir melalui kapasitor itu terdahulu (leading)  $90^\circ$  terhadap tegangannya. Pada gambar di bawah ini dapat dilihat gelombang arus dan tegangan pada suatu kapasitor.



Gambar 2.17 Gelombang tegangan dan arus pada suatu kapasitor.

Arus listrik  $i(t)$  pada suatu kapasitor adalah muatan listrik yang mengalir persatuan waktu, atau dapat dituliskan sebagai berikut

$$i(t) = dq/dt \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$q(t) = q(0) + \int i dt$$

dimana:

$q(t)$  = muatan kapasitor pada waktu  $t$  detik

$q(0)$  = muatan awal kapasitor

#### 5. Energi yang tersimpan dalam kapasitor

Kapasitor mempunyai kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan energi pada kondisi yang ditentukan oleh tegangan dimana kapasitor itu dipasang, serta kapasitansi kapasitor itu sendiri. Pada setengah periode dari tegangan bolak-balik energi disimpan dan dilepaskan pada setengah periode berikutnya. Demikianlah proses penyimpanan dan pelepasan itu terjadi secara berulang-ulang. Energi yang disimpan itu berupa energi listrik yang terdapat dalam medan listrik diantara dua plat dari kapasitor.

Pada kapasitor dengan kapasitansi  $C$  yang dipasang pada tegangan  $V$ , maka daya yang diberikan pada kapasitor itu adalah :

$$P = V \cdot i(t) \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

Jika persamaan (2.21) dan persamaan (2.22) disubstitusikan dalam persamaan (2.23) diperoleh :

$$\begin{aligned} P &= V \cdot i(t) \\ &= (V \cdot dq)/dt \\ &= (VdCV)/dt \end{aligned}$$

$$= V \cdot C (dV / dt)$$

Energi yang disimpan dalam medan listrik adalah :

$$\begin{aligned} W_c &= \int_0^T P dt \\ &= \int_0^T C \cdot V (dv / dt) dt \\ &= C \int_0^T V dv \\ &= \frac{1}{2} C \cdot \{ V(t)^2 - V(t_0)^2 \} \dots\dots\dots(2.23) \end{aligned}$$

Bila diambil referensi pada saat  $t_0 = 0$ ,  $V(t_0) = 0$ , maka

$$W_c = \frac{1}{2} C \cdot V^2 \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana:

$P$  = daya yang diberikan pada kapasitor.

$C$  = kapasitansi dalam kapasitor.

$W_c$  = energi yang disimpan dalam medan listrik.

$T_0$  = waktu awal pengisian kapasitor.

$t$  = waktu akhir pengisian kapasitor.

Hubungan di atas memperlihatkan bahwa energi yang tersimpan pada kapasitor sebanding dengan kuadrat tegangan pada kapasitor. Makin tinggi tegangan makin besar pula energi listrik yang dapat tersimpan dalam medannya.

#### 6. Daya yang dibangkitkan oleh kapasitor

Daya reaktif yang dibangkitkan oleh kapasitor adalah merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus dalam kapasitor:

$$VAR = V \cdot I_c \dots\dots\dots I_c = V/X_c$$

$$\text{VAR} = V \cdot \frac{V}{2fC}$$

Atau

$$\text{VAR} = \frac{2fCV^2}{10^2}$$

Dimana:

V = Tegangan (Volt)

C = Kapasitansi (Farad)

f = Frekuensi (Hz)

Ic = Arus kapasitor (Ampere)

a. Kapasitor hubungan bintang (Y):

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot V_c \cdot I_c$$

$$V_c = V_L / \sqrt{3}$$

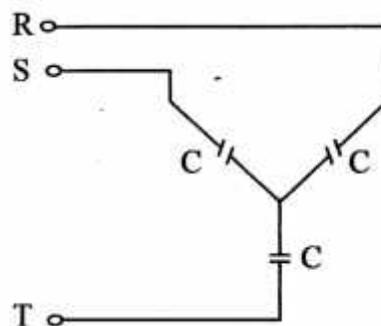
$$= \sqrt{3} \cdot (V_L / \sqrt{3}) \cdot I_c$$

$$I_c = V_c / X_c$$

$$= V_L \cdot \frac{(V_L / \sqrt{3})}{X_c}$$

$$X_c = \frac{1}{S_c} = \frac{1}{2fC}$$

$$Q_c = \frac{1}{\sqrt{3}} 2\pi f C \cdot V_L^2 \dots \dots \dots (2.25)$$



Gambar 2.18 Kapasitor hubungan bintang (Y)

b. Kapasitor hubungan delta ( $\Delta$ )

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot V_c \cdot I_c$$

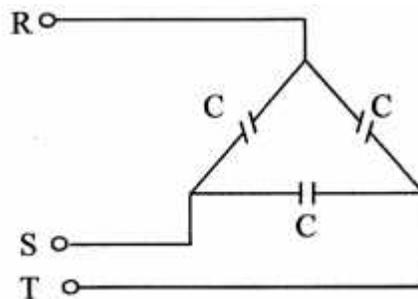
$$V_c = V_L$$

$$= \sqrt{3} \cdot V_c \cdot I_c$$

$$I_c = V_c / X_c$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{3} \cdot V_L \frac{V_L}{X_C} & X_C &= \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \\
 &= \sqrt{3} \cdot 2\pi f C \cdot V_L^2 \\
 Q_c &= \frac{3}{\sqrt{3}} 2\pi f C \cdot V_L^2 \dots\dots\dots(2.26)
 \end{aligned}$$

Dimana C = kapasitansi Kapasitor (Farad)



Gambar 2.19 Kapasitor Hubungan delta ( $\Delta$ )

#### F. Cos $\phi$ meter

Adalah alat yang digunakan untuk mengukur faktor daya pada suatu beban listrik. Cos  $\phi$  meter ini dapat digunakan pada rangkaian listrik satu fasa dan rangkaian listrik tiga fasa. Cos  $\phi$  meter ini digunakan bila kita ingin mengetahui secara langsung besar faktor daya (Cos  $\phi$ ) pada suatu beban.

#### G. Regulator Kapasitor

Regulator kapasitor berfungsi untuk mengatur besar kapasitor dari yang terkecil sampai yang terbesar untuk mendapatkan faktor daya (Cos  $\phi$ ) yang ditargetkan dengan dilengkapi setting waktu.

Regulator kapasitor terbagi atas dua macam, yaitu regulator kapasitor secara otomatis dan regulator kapasitor secara manual. Regulator kapasitor secara otomatis adalah regulator kapasitor yang secara langsung membaca nilai faktor daya (Cos  $\phi$ )

yang ada pada alat ukur dan apabila nilai faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) belum sesuai dengan yang ditargetkan, maka secara otomatis akan memberikan perintah kepada kapasitor untuk menaikkan nilai faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) sampai mencapai/sesuai dengan yang ditargetkan tersebut. Regulator kapasitor yang secara manual adalah regulator kapasitor yang tidak secara otomatis memberikan perintah kepada kapasitor untuk menaikkan nilai faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) melainkan dengan bantuan manusia, dimana apabila pembacaan faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) belum sesuai dengan yang telah ditargetkan, maka kita harus meng-ON-kan kapasitor untuk mendapatkan nilai faktor daya ( $\text{Cos } \varphi$ ) yang telah ditargetkan tersebut.



### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

##### **A. Waktu dan Tempat**

###### a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 5 bulan, mulai dari April 2017 sampai dengan September 2017 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

###### b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep RAW MILL I.

##### **B. Langkah-langkah Penelitian**

Metode penulisan ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penulisan ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

###### 1. Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

###### 2. Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep. Kemudian mengevaluasi dan menyimpulkan.

### 3. Metode Diskusi atau Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi / wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep.



## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Gambaran Umum PT Semen Tonasa (PERSERO)**

Pabrik Semen Tonasa dibangun berdasarkan ketetapan Majelis Pemusyawaratan Rakyat Sementara RI No II/MPRS/1960 tanggal 5 Desember 1960 tentang Pola Pembangunan Nasional Semesta Bencana Tahap 1961-1969.

Di dalam TAP MPRS tersebut mengenai Pola Proyek Bidang Produksi Industri Golongan A1 1953 bidang No. 54 telah dicantumkan rencana untuk mendirikan Pabrik Semen di Sulawesi Selatan dengan produksi 375.000 Ton pertahun dan bertujuan untuk mensuplai semen dalam menuju pembangunan di kawasan Timur Indonesia.

##### **1. Pabrik Semen Tonasa Unit I**

Pabrik Semen Tonasa Unit I didirikan berdasarkan kepada ketetapan MPRS RI No. II/MPRS/1960 tanggal 5 Desember 1960. Studi kelayakan dimulai berdasarkan kontrak yang ditandatangani di Jakarta pada tanggal 13 Juni 1960 dan selesai pada tahun 1962.

Dalam studi kelayakan tersebut disimpulkan bahwa kepastian produksi Semen Tonasa adalah 110.000 Ton Semen Portland jenis I pertahun. Proses yang digunakan adalah proses basah dengan bahan bakar minyak Bunkert-C.

Bulan November 1984 kegiatan pemanfaatan Unit I dihentikan dan digantikan oleh unit II dan Unit III.

##### **2. Pabrik Semen Tonasa Unit II**

Pabrik Tonasa II yang berlokasi di Desa Manglilu, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan Propinsi Sulawesi selatan 25 KM disebelah utara pabrik Tonasa I dan didirikan berdasarkan persetujuan Bappenas No. 023/XC-LC/B.V/76 No. 2854/D.I/IX/76 pada tanggal 02 September 1976.

Setelah dilakukan survey dilaksanakanlah studi kelayakan pendirian Pabrik Semen Tonasa Unit II yang berlangsung antara tahun 1974 sampai dengan tahun 1975. Dalam studi kelayakan tersebut disimpulkan bahwa kapasitas produksi Unit II adalah 510.000 Ton Semen Portland jenis I pertahun. Proses yang digunakan adalah proses kering dengan bahan baku minyak Bunkert-C. Pelaksanaan pembangunan pabrik Unit II secara resmi dimulai pada tanggal 20 Oktober 1976 dan selesai pada tanggal 15 Desember 1979 dan diresmikan pada tanggal 28 Februari 1980.

### 3. Pabrik Semen Tonasa Unit III

Pabrik Tonasa III yang berlokasi di tempat yang sama dengan pabrik Tonasa II, dibangun berdasarkan persetujuan BAPPENAS No. 32/XC-LB/B.V/1981 No. 2177/WK/10/1981 tanggal 30 Oktober 1981.

Dalam studi kelayakan disimpulkan bahwa kapasitas produksi Unit III adalah 590.000 Ton Semen Portland jenis I pertahun. Proses yang dilakukan adalah proses kering dengan bahan baku minyak Bunkert-C.

Proyek pembangunan pabrik Unit III dimulai pada tanggal 9 Januari 1982, dan diresmikan tanggal 3 April 1985.

### 4. Pabrik Semen Tonasa IV

Pabrik Tonasa IV yang berlokasi di tempat yang sama dengan Pabrik Tonasa II dan III, dibangun berdasarkan surat Menteri Muda Perindustrian No. 182/MPR-IX/1990 serta surat Menteri Keuangan RI No. Semen 1549/MK. 013/1990. pembangunan dilakukan secara awkelola.

Pembangunan proyek Tonasa IV dimulai pada pertengahan tahun 1992 dan selesai pada akhir tahun 1996 dimana survey bahan baku tidak dilaksanakan lagi karena lokasinya sama dengan lokasi Tonasa II / III dan sudah dilaksanakan survey bahan baku Tonasa II / III, sedang study kelayakan yang terdiri dari aspek-aspek teknis, ekonomis dan umum dibuat sendiri oleh PT. Semen Tonasa (Persero).

Kapasitas produksi sebesar 2.300.000 ton semen Portland jenis I, PPC, PMC pertahun dengan proses kering menggunakan bahan bakar batubara dan untuk menyuplai tenaga listrik ke pabrik unit IV ini didukung dengan dibangunnya fasilitas Boiler Turbin

Generator (BTG) Power Plant yang berlokasi di sebelah timur pelabuhan khusus Biringkassi. Boiler Turbin Generator (BTG) Power Plant ini berkapasitas 2 x 25 MW, untuk mengantisipasi kurang mampuan pembangkit listrik yang ada.

##### 5. Status Perusahaan

Pada awal dimulainya konstruksi, perusahaan masih berstatus proyek dilingkungan Departemen Perindustrian Dasar dan pertambangan. Status proyek ini berlangsung dari tahun 1963 sampai dengan tahun 1968. Dengan selesainya pembangunan proyek dan mulai beroperasinya Pabrik Semen Tonasa I pada

tanggal 2 November 1968, status proyek ditingkatkan lagi menjadi pabrik. Status ini berlangsung dari tahun 1968 sampai dengan tahun 1971.

Menunjukkan hasil usaha lebih lanjut, status pabrik ditingkatkan lagi menjadi perusahaan umum (PRUM), berdasarkan peraturan Pemerintah No. 54 tahun 1971. Status Perusahaan Umum ini sampai dengan tahun 1976. Pada tahun 1976, berkat hasil usaha yang menggembirakan status perusahaan umum ditingkatkan menjadi Peraturan Pemerintah No. 1 tahun 1975. Status perusahaan Persero ini berlangsung hingga sekarang.

## **B. Proses Pembuatan Semen Tonasa**

Proses pembuatan semen di PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep merupakan proses kering. Proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

### **1. Bahan Mentah**

- a. Batu kapur : 80 %
- b. Tanah liat : 18%
- c. Pasir silikat : 1 % - 2 %
- d. Clan qypsum : 3 %

### **2. Proses Pembuatan**

- a. Quarry

Batu kapur di quarry diledakkan dengan peledak. Dengan alat berat batu kapur dipilih yang berdiameter 170 cm, kemudian dimuat dan diangkut dengan dum truk ke alat pemecah.

- b. Crusher

Kemudian batu kapur hasil quarry dipecahkan oleh hammer crusher sehingga kecil dengan diameter maksimum 3 Cm.

c. Clay Pit

Tanah Hat dari clay pit diambil dan diangkat ke storage hall (tempat pengumpulan).

d. Clay Dryer

Clay yang berada di storage hall dikeringkan dalam clay dryer agar mendapatkan kadar air maksimum 1 % dan dikumpulkan dalam silo.

e. Pasir Silika

Pasir silika diambil dari deposite yang ada di daerah Sulawesi Selatan dan sebagian diperoleh dari kandungan clay dari clay pit.

f. Raw Mill

Batu kapur, clay dan pasir silika bersama-sama digiling dalam raw mill dan dimasukkan dalam silo. Dalam prosesnya, penggilingan tersebut selalu mendapatkan pengawasan dari laboratorium, sehingga raw mill yang dihasilkan langsung dibakar.

g. Kiln atau Tungku Putar

Kemudian selanjutnya raw mill dari silo diangkat ke kiln untuk dibakar dengan temperatur 1350 °C - 1500 °C, sehingga raw mill menghasilkan terak / clinker.

h. Finish Mill

Clinker bersama-sama gypsum (3 %) digiling dalam finish mill sehingga menghasilkan semen.

### C. Sistem Kelistrikan PT. Semen Tonasa (Persero) Unit IV Pangkep

Daya yang digunakan dalam proses produksi di PT. Semen Tonasa (Persero)

Unit IV Pangkep, display dari dua sumber, yaitu :

1. Pembangkit listrik Biringkasi yang merupakan pembangkit sendiri dengan daya terpasang 50 MW dengan dua buah trafo yang masing-masing berkapasitas 25 MW untuk setiap unit.
2. Daya yang dihasilkan pembangkit listrik milik PLN yang penggunaannya sebagai sumber daya cadangan untuk memenuhi kebutuhan beban puncak.

Sumber daya dari pembangkit sendiri merupakan sumber daya yang utama yang digunakan dan disalurkan melalui trafo 1 dan trafo 2 yang melayani beban pada substation I dan II. Adapun feder-feder sebagai berikut:

- |                              |             |
|------------------------------|-------------|
| 1. Feeder Limestone Crusher  | (MDB - 1)   |
| 2. Feeder Clay Crusher       | (MDB - 2)   |
| 3. Feeder Silica Crusher     | (MDB - 3)   |
| 4. Feeder Raw Mill 1         | (MDB - 4 A) |
| 5. Feeder Raw Mill 1         | (MDB - 4 B) |
| 6. Feeder Raw Mill 2         | (MDB - 5)   |
| 7. Feeder Raw Mill Transport | (MDB - 6)   |
| 8. Feeder Blending Silo      | (MDB-7 A)   |
| 9. Feeder Blending Silo      | (MDB - 7 B) |
| 10. Feeder Kiln              | (MDB - 8)   |
| 11. Feeder Clinker Cooler    | (MDB - 9 A) |
| 12. Feeder Clinker Cooler    | (MDB - 9 B) |

- |                         |            |
|-------------------------|------------|
| 13. Feeder Coal Mill    | (MDB - 10) |
| 14. feeder Precipitator | (MDB - 11) |
| 15. Feeder Emergency    | (EMDB - 1) |

Daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik milik PLN digunakan apabila PT. Semen Tonasa unit IV mencapai beban puncak dan daya dari PLN disalurkan melalui trafo 3 yang melayani substation III, adapun feeder-feeder yang dilayani adalah sebagai berikut:

- CCR6 (MDB-12)
- Cement Mill 1 A (MDB - 13 A)
- Cement Mill 1 B (MDB - 13 B)
- Cement Mill 2 (MDB - 14)

Kedua sumber daya tersebut disalurkan melalui trafo (F1, F2, dan F3) yang merupakan transformator step down yang menurunkan tegangan dari 70 KV menjadi 6,3 KV. Kemudian daya tersebut sebelum masuk ke feeder-feeder untuk melayani beban, terlebih dahulu melalui sebuah trafo lagi yang merupakan transformator step down yang menurunkan tegangan dari 6,3 KV menjadi 400 V.

#### **D. Faktor Daya Pada Cabang 400 Volt**

Faktor daya merupakan perbandingan besar daya reaktif (KW) dengan besar daya semu (KVA) dari suatu sistem kelistrikan. Secara geometris hubungan antara daya aktif, daya semu, dan daya reaktif (KVAR) direpresentasikan oleh segitiga daya. Sehingga, faktor daya dapat juga dikatakan cosinus sudut antara vektor daya aktif dengan daya semu. Faktor daya dinyatakan dengan sudut pergeseran fase antara

arus dengan tegangan dan arah pergeseran fase, tergantung pada jenis beban yang terpasang pada sistem kelistrikan.

Faktor daya pada cabang 400 Volt PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep masih rendah sehingga, kebutuhan akan pemakaian daya reaktif (KVAR) sangat besar, yang dapat mempengaruhi efisiensi kerja sistem kelistrikan, karena dalam suatu industri nilai faktor daya dan pemakaian daya reaktif telah dibatasi oleh PLN. Hal ini memerlukan suatu cara mengkompensair kebutuhan akan daya reaktif tambahan untuk memperbaiki faktor daya. Untuk mengatasi hal tersebut, kami mengambil data-data mengenai faktor daya ( $\cos \phi$ ) pada PT. Semen Tonasa unit IV, khususnya pada cabang 400 V, sehingga kami dapat mengetahui faktor daya di PT. Semen Tonasa unit IV dan mengevaluasikannya.

Dari hasil penelitian, diperoleh data faktor daya pada cabang 400 Volt sebagai berikut:

Tabel 4.1 Faktor daya pada cabang 400 Volt sebelum perbaikan

NO	LOKASI	V	I (A)	P (KW)	S (KVA)	PF
1.	MDB4A (Raw Mill 1)	400	2461	1138	1674	0,68

Tabel 4.2 Faktor daya pada cabang 400 Volt sesudah perbaikan

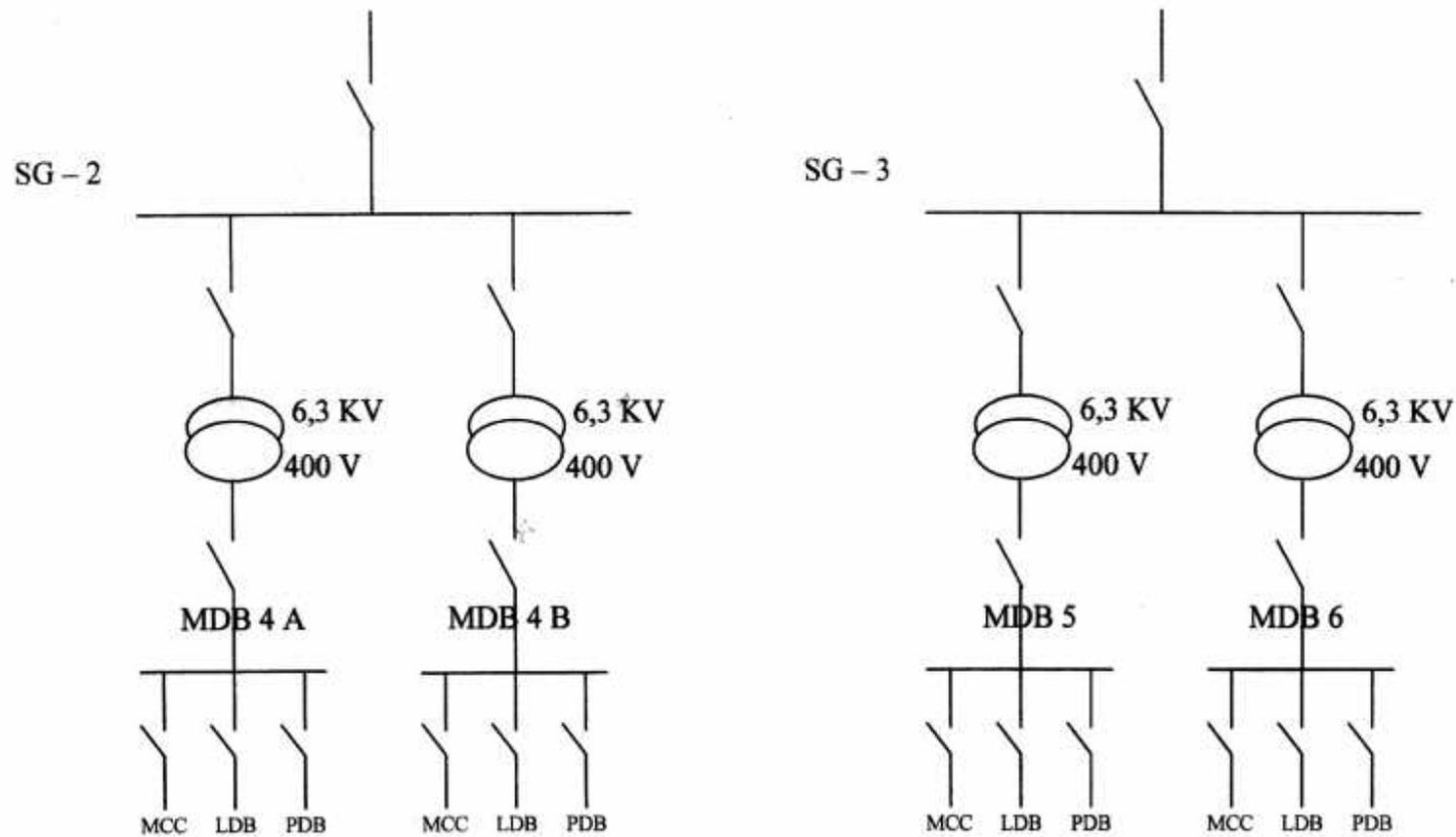
NO	LOKASI	V	I (A)	P (KW)	S (KVA)	PF
1.	MDB4A (Raw Mill 1)	400	1902	1138	1293	0,88

Tabel 4.3 Faktor pengali untuk setiap KW beban

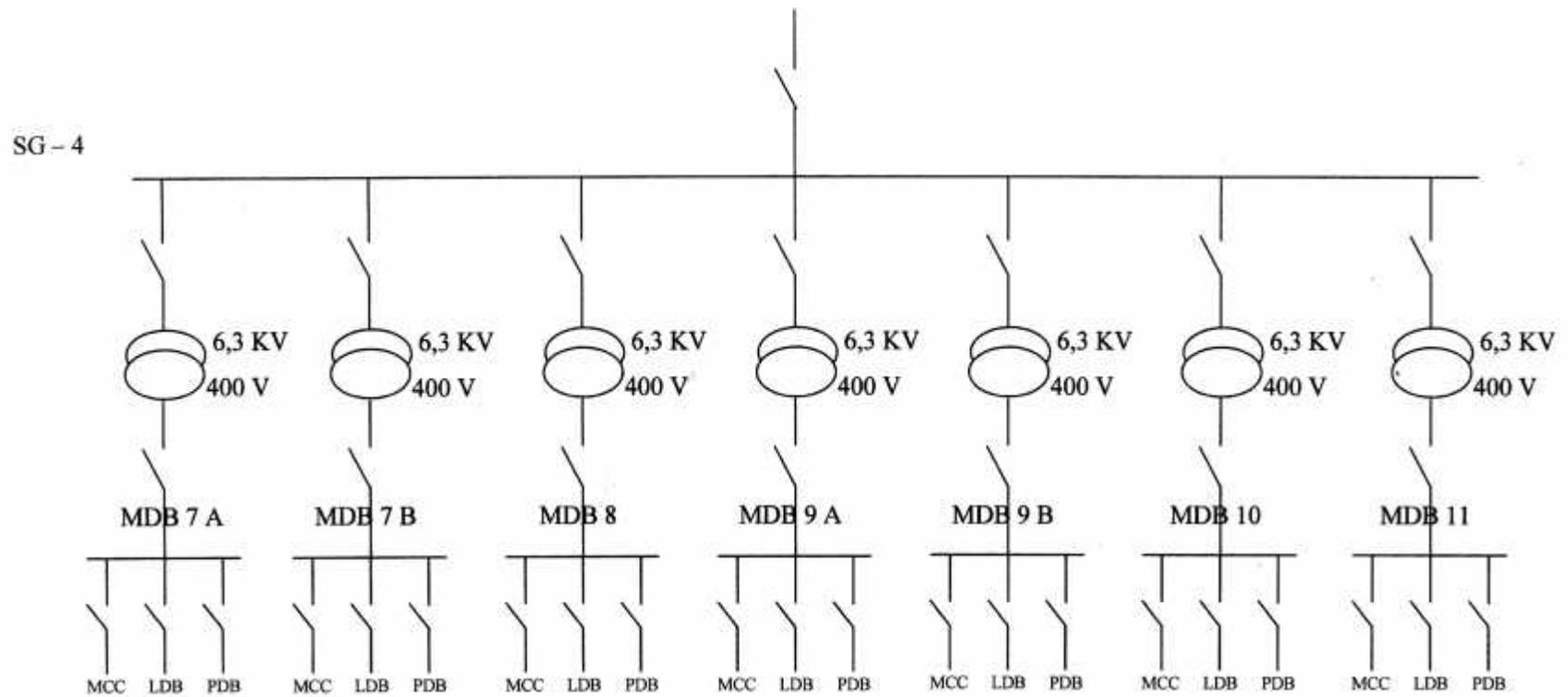
SEBELUM KOMPENSASI	SESUDAH KOMPENSASI (Faktor Daya Yang Diinginkan)								
	0,86	0,87	0,88	0,9	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96
Cosp	0,59	0,57	0,54	0,48	0,46	0,43	0,4	0,33	0,29
0,64	0,61	0,63	0,66	0,72	0,74	0,77	0,81	0,87	0,91
0,66	0,54	0,57	0,6	0,65	0,68	0,71	0,79	0,81	0,85
0,68	0,48	0,51	0,54	0,59	0,62	0,65	0,68	0,75	0,79
0,74	0,32	0,34	0,37	0,42	0,45	0,48	0,51	0,58	0,62
0,76	0,26	0,29	0,32	0,37	0,4	0,43	0,46	0,53	0,56
0,79	0,18	0,21	0,24	0,29	0,32	0,35	0,38	0,45	0,48
0,8	0,16	0,18	0,21	0,27	0,29	0,32	0,35	0,42	0,46
0,82	0,1	0,13	0,16	0,21	0,24	0,27	0,3	0,37	0,41
0,83	0,08	0,11	0,13	0,19	0,22	0,25	0,28	0,34	0,38
0,84	0,05	0,08	0,11	0,16	0,19	0,22	0,25	0,32	0,35
0,87	-	0	0,03	0,08	0,11	0,14	0,17	0,24	0,28

Tabel 4.4 Kapasitor Bank pada tegangan 380/440 V

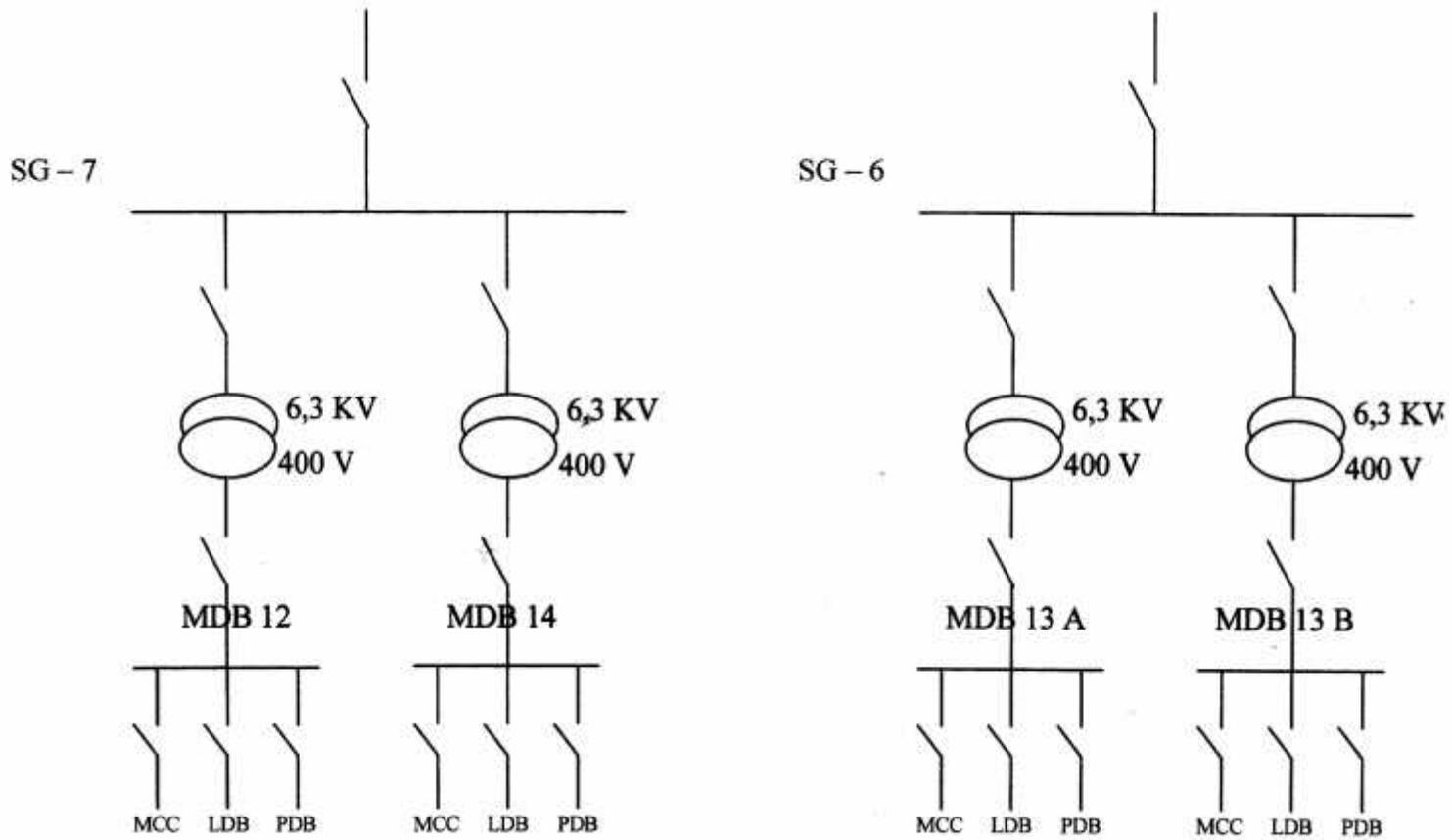
Daya tumpuk Kapasitor (KVAR)	Jumlah step efektif	Jumlah step	daya / step (KVAR)	Kapasitor / step
100	6	2	10	52419
150	4	2	25	52419 + 52421
200	5	2	25	52419 + 52421
270	5	1	30	2 x 52421
300	6	2	30	2 x 52421
375	8	1	25	52419 + 52421
400	8	8	50	52422
450	9	9	50	52422
500	10	10	50	52422
600	10	10	60	52423
700	8	2	50	52422
800	9	2	50	52422
900	8	1	60	52423
1000	10	10	100	2 x 52422
1100	11	11	100	2 x 52422
1200	12	12	100	2 x 52422



Gambar 4.1 Single line Substation I PT. SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP Pada tegangan 400 Volt



Gambar 4.2 Single Line Substation II PT. SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP Pada tegangan 400 Volt



Gambar 4.3 Single Line Substation III PT. SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP Pada tegangan 400 Volt

**DATA MDB 4 A (Raw Mill 1)**

$$V = 400 \text{ Volt}$$

$$I = 2461 \text{ A}$$

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$S = 1674 \text{ KVA}$$

**E. Perhitungan Faktor Daya Sebelum Perbaikan****DATA MDB 4 A (Raw Mill 1)**

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$I = 2461 \text{ A}$$

## 1. Perhitungan Tegangan (Volt)

Untuk menghitung tegangan, kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.14).  
untuk dilakukan perhitungan penentuan tegangan.

$$\text{Cos } \varphi = 0,68$$

Maka, besar tegangan yang didapat adalah :

$$V = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi}$$

$$V = \frac{1138}{\sqrt{3} \cdot 2461 \cdot 0,68}$$

$$V = \frac{1138000}{2844,916}$$

$$= 400,01 \text{ Volt.}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka hasil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil yang tercantum pada data.

2. Menentukan kapasitas arus listrik yang terpakai.

Untuk menghitung arus listrik, kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.18). untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas arus listrik (A).

Dik :

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$V = 400 \text{ Volt}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,68$$

Maka, besar arus listrik yang didapat adalah :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{Cos } \varphi}$$

$$I = \frac{1138000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,68}$$

$$I = \frac{1138000}{462,4}$$

$$= 2461,07 \text{ A.}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka hasil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil, seperti tercantum pada data.

### 3. Menentukan kapasitas daya aktif

Untuk menghitung daya aktif, kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.13). untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas daya beban (KW).

Dik:

$$V = 400 \text{ Volt}$$

$$I = 2461 \text{ Amper}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,68$$

Maka, besar daya beban yang diperoleh adalah :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2461 \cdot 0,68$$

$$= 1137966,4 \text{ W}$$

$$= 1137,96 \text{ KW}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka hasil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil..

### 4. Menentukan kapasitas daya nyata

Untuk menghitung daya nyata, kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.16). untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas daya nyata (KVA).

Dik:

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,68 \text{ (sebelum perbaikan)}$$

Maka, besar daya nyata yang diperoleh adalah :

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{1138000}{0,68}$$

$$= 1673,52 \text{ KVA}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka hasil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil,

#### 5. Menentukan Besar Daya Reaktif Yang Terpakai

Untuk menghitung daya reaktif yang terpakai, kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1, dengan menggunakan rumus pada persamaan(2.15). Untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas daya reaktif (KVAR).

Dik:

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$\tan \phi = 1,08$$

Maka, besar daya reaktif yang diperoleh adalah :

$$Q = P \cdot \tan \phi$$

$$Q = 1138000 \cdot 1,08$$

$$= 1229,04 \text{ KVAR}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka basil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil.

## 6. Perhitungan Faktor Daya (Cos $\phi$ )

Untuk menghitung faktor daya, kita memerlukan data-data seperti MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.17).

Untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas faktor daya (Cos  $\phi$ ).

Dik:

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$S = 1674 \text{ KVA}$$

Maka, besar faktor daya yang diperoleh adalah :

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{1138}{1674}$$

$$= 0,679$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama untuk bagian-bagian yang lainnya, maka hasil perhitungan yang diperoleh tidak jauh beda dengan data yang diambil..

## 7. Menentukan Kapasitas Kapasitor Bank (Qc) Dengan Metode Cos $\phi$

Untuk menghitung kapasitas kapasitor bank (Qc), kita memerlukan data-data MDB 4 A (Raw Mill 1), dengan menggunakan rumus yang tertera pada bab II. untuk dilakukan perhitungan penentuan kapasitas kapasitor BANK (Qc).

Dik:

$$P = 1138 \text{ KW}$$

$$\text{Koefisien} = 0,54$$

Maka, besar kapasitas kapasitor bank yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} Q_c &= P \cdot \text{koefisien} \\ Q_c &= 1138 \cdot 0,54 \\ &= 614,52 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus perhitungan yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan untuk bagian-bagian yang lainnya seperti pada data.

#### F. Perhitungan Faktor Daya Sesudah Perbaikan

Dengan persamaan yang sama seperti pada perhitungan faktor daya sebelum perbaikan, maka diperoleh hasil seperti pada tabel 4.1. Untuk melakukan perhitungan tersebut, maka kita memerlukan data-data seperti pada tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan faktor daya sesudah perbaikan

No.	LOKASI	V	I (A)	P (KW)	S (KVA)	Q (KVAR)	Qc (KVAR)	PF
1	MDB4A (Raw Mill 1)	399,94	1901,73	1138,15	1293,18	614,52	614,52	0,88

#### G. Gambar Bentuk Segitiga Daya Sebagai Perbandingan Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Perbaikan.

Adapun data-data yang diketahui, untuk lebih memperjelas keterangan-keterangan yang ada pada gambar tersebut, adalah sebagai berikut :

Dik:

$$P = 1138 \text{ KW}$$

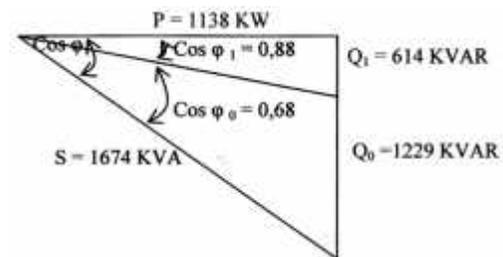
$$S = 1674 \text{ KVA}$$

$$Q_0 = 1229 \text{ KVAR}$$

$$Q_1 = 614 \text{ KVAR}$$

$$\cos \varphi = 0,68 \text{ (sebelum perbaikan)}$$

$$\cos \varphi = 0,88 \text{ (setelah perbaikan)}$$



Gambar 4.4 Segitiga daya pada MDB 4 A (Raw Mill 1)

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep di RAW MILL I, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan faktor daya dari hasil pengukuran dengan hasil perhitungan secara teori tidak terlalu berbeda, ini membuktikan bahwa faktor daya pada RAW MILL I cabang 400 volt sudah baik.
2. Kebutuhan akan arus listrik, daya semu (KVA) dan daya reaktif (KVAR) pada RAW MILL I cabang 400 Volt tidak terlalu besar, yakni:
  - Kapasits daya nyata pada RAW MILL I adalah 1673,52 KVA .
  - Besar daya reaktif pada RAW MILL I yang terpakai 1229,04 KVAR
3. Hasil faktor daya sesudah perbaikan pada RAW MILL I, daya semu (KVA) dan daya reaktif (KVAR) pada cabang 399,94, yakni:
  - Kapasits daya nyata pada RAW MILL I adalah 1293,18 KVA .
  - Besar daya reaktif pada RAW MILL I yang terpakai 1138,15 KVAR
  - Besar kapasitas kapasitor bank pada RAW MILL I yang diperoleh adalah 614,52 KVAR

#### **B. Saran-saran**

1. Untuk meningkatkan efisiensi kerja kelistrikan pada PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep, maka perlu ditingkatkan pemasangan kapasitor bank pada Switch Gear (SG) 2 dan Switch Gear (SG) 6, dengan mencapai kenaikan  $\text{Cos } \phi = 0,95$ .

2. Agar sistem kerja listrik yang dimiliki oleh Pabrik Semen Tonasa Unit IV pada RAW MILL I dapat berjalan dengan baik dan lebih efisien, maka perlu ditunjang dengan peralatan yang memadai, misalnya peralatan yang tidak layak dipakai harus secepatnya diganti.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar Artono, 2013, "Teknik Tegangan Tinggi", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Fitzgerald, A. E., David. E. Higgin Botham, Avrin Grabel, 2012, "Dasar – dasar Elektroteknik", Edisi Kelima, Jilid I, II, Erlangga, Jakarta.
- Gerlin merlin, 2012, "Katalog Harga", PT. Schneider Ometraco.  
Joseph A. Edminister, Sahat Pakpahan, 2012, "Rangkaian Listrik", Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Mismail Budiono, 2015, "Rangkaian Listrik", Jilid Pertama, ITB, Bandung.  
Neidle Michael, 2012 "Teknologi Instalasi Listrik", Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Pabla, As., Abdul Hadi, 2015, "Sistem Distribusi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta.  
Valkenburg, Van, M. E., Nasution S. H., 2012, "Analisis Jaringan listrik", Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Wiliam D., Stevenson Jr., 2014, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Erlangga, Jakarta.
- Wiliam H. Hayt Jr., Jack E. Kemmerly, Pantur Silaban., 2014, "Rangkaian Listrik", Jilid Pertama, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Zuhal., 1988, "Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.